



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 195 23 483 C 2

51 Int. Cl.⁶:
G 01 M 19/00
G 01 M 17/00

21 Aktenzeichen: 195 23 483.9-52
22 Anmeldetag: 28. 6. 95
43 Offenlegungstag: 2. 1. 97
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 10. 98

DE 195 23 483 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

72 Erfinder:

Forchert, Thomas, Dipl.-Ing., 70563 Stuttgart, DE;
Müller, Konstantin, Dipl.-Ing. (FH), 73230
Kirchheim, DE; Luka, Jürgen, Dipl.-Ing. (FH), 71732
Tamm, DE; Waleschkowski, Norbert, Dipl.-Math.
Dr., 61381 Frierichsdorf, DE; Schahn, Matthias,
Dipl.-Inform., 55124 Mainz, DE

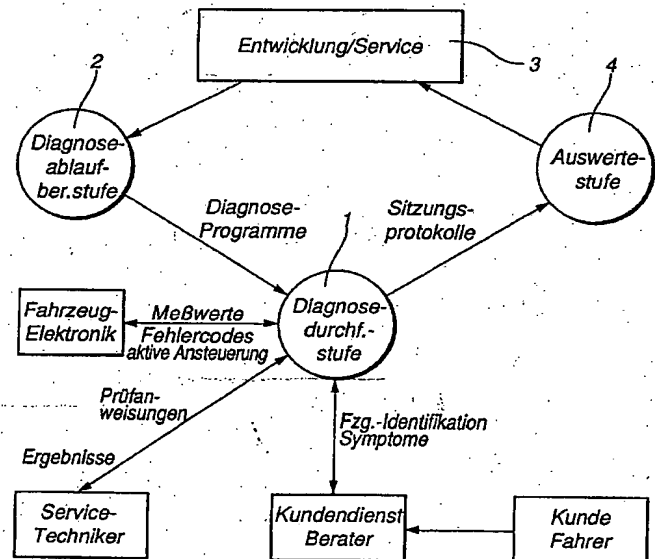
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE-Z: Künstliche Intelligenz KI, 1/1995,
März 1995, S. 55-61;

54 Rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein komplexes technisches System

57 Rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein komplexes technisches System aus einzelnen Teilsystemen mit mehreren zu diagnostizierenden Funktionen, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit

- Diagnoseablaufbereitstellungsmitteln, in denen eine Wissensbasis abgelegt ist, die ein Strukturmodell über den hierarchischen Aufbau des technischen Systems aus den einzelnen Teilsystemen, ein in Wirkungs- und Teilwirkungsbereiche gegliedertes Wirkungsmodell über die Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Teilsystemen sowie innerhalb der einzelnen Teilsysteme und ein den Diagnoseablauf bestimmendes Fehlermodell beinhaltet, das automatisch aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell erstellt wird und die Zusammenhänge zwischen Fehlerursachen und deren Auswirkungen sowie geeigneten Prüfabläufen und Reparaturen darstellt, und
- Diagnosedurchführungsmitteln (1) zur interaktiven Durchführung von Fehlerdiagnosen unter Verwendung des von den Diagnoseablaufbereitstellungsmitteln bereitgestellten Diagnoseablaufprogramms, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Diagnoseablaufbereitstellungsmittel (2) automatisch aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell ein Basis-Fehlermodell erstellen, auf dem dann das Fehlermodell basiert, indem sie für jedes Wissensbasismodul, das einem jeweiligen Teilsystem zugeordnet ist, genau ein Basis-Fehlermodell-Wurzelobjekt ableiten, für jeden zugehörigen, hierarchisch obersten Wirkungsbereich im Wirkungsmodell ein Basis-Fehlerobjekt ableiten, das dem zugehörigen Basis-Fehlermodell-Wurzelobjekt hierarchisch nachgeordnet wird, für jeden zugehörigen, hierarchisch nachgeordneten Wirkungsbereich im Wirkungsmodell ein Basis-Fehlerobjekt ableiten, das dem Basis-Fehlerobjekt des hierarchisch übergeordneten Wirkungsbereichs hierarchisch nachgeordnet wird, und für jeden zugehörigen Teilwirkungsbereich, der durch Öffnen von Trennstellen entsprechend einer erstellten Prioritätslist gebildet wird, ein Basis-Fehlerobjekt ableiten, das dem Basis-Fehlerobjekt des hierarchisch übergeordneten Wirkungsbereichs oder Teilwirkungsbereichs hierarchisch nachgeordnet wird.



DE 195 23 483 C 2

Die Erfindung bezieht sich auf eine rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein komplexes, d. h. modular aus mehreren Teilsystemen aufgebautes, technisches System mit mehreren zu diagnostizierenden Funktionen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, wobei das zu diagnostizierende technische System insbesondere ein Kraftfahrzeug sein kann.

In der Patentschrift US 5.099.436 ist eine rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein komplexes technisches System beschrieben, bei dem während des Systembetriebs erfaßte Daten mit einer ereignisbasierten Repräsentation des Systems, die eine Mehrzahl vordefinierter Ereignisse enthält, verglichen wird. Zusätzlich sind dort ein Symptom-Ausfall-Modell und ein Fehlermodell vorgesehen. Anhand dieser Modelle wird eine Mehrdeutigkeitsgruppe mit einer Rangfolgenordnung erstellt, die wiederum als Grundlage für eine Strukturmodellanalyse dient, bei der mit der größten Wahrscheinlichkeit eines Fehlers in der Mehrdeutigkeitsgruppe begonnen wird.

Strukturelle Grundzüge einer gattungsgemäßen rechnergestützten Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein Kraftfahrzeug sind in den Veröffentlichungen N. Waleschkowski, M. Schahn, W. Henrich, T. Forchert, K. Müller und J. Steinhart, "Ein wissensbasiertes Fahrzeug-Diagnosesystem für den Einsatz in der Kfz-Werkstatt", Grundlagen und Anwendungen der künstlichen Intelligenz, Springer-Verlag, 1993, S. 277 sowie N. Waleschkowski, N. Schahn und T. Forchert, "Wissensmodellierung und Wissenserwerb am Beispiel der Fahrzeugdiagnose", Zeitschrift Künstliche Intelligenz KI 1/95, S. 55 beschrieben. Der Inhalt dieser beiden Veröffentlichungen bildet die Basis des vorliegenden Erfindungsgegenstands und wird hierin durch Verweis aufgenommen, so daß bezüglich der detaillierten Beschreibung von Komponenten, die dort eingehend erläutert sind, auf diese Veröffentlichungen verwiesen werden kann. Eine Fehlerdiagnoseeinrichtung, wie sie dort offenbart ist, enthält eine Diagnoseablaufbereitstellungsmittel mit einer Wissensbasis, die als mehrdimensionales Gebilde aufgefaßt werden kann, wobei je nach Sichtweise auf die Wissensbasis das den hierarchischen Aufbau des technischen Systems aus den einzelnen Teilsystemen darstellende Strukturmodell, das die Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Teilsystemen darstellende Wirkungsmodell oder das Fehlermodell erscheint, das die Zusammenhänge zwischen Fehlerursachen und deren Auswirkungen sowie geeigneten Prüfabläufen und Reparaturen darstellt und damit den Diagnoseablauf bestimmt. Herkömmlicherweise geschieht die Erstellung eines Fehlermodells von Hand, was einen hohen Arbeitsaufwand bedeutet und vor allem auch schwierige Entwurfsentscheidungen erfordert, die oft von unterschiedlichen Entwicklungspersonen verschieden getroffen werden, was zu Fehlermodellen führt, deren Struktur vergleichsweise stark von subjektiven Faktoren beeinflusst ist. Dies wiederum beeinflusst in nachteiliger Weise die erwünschte Wohldefiniertheit und Eindeutigkeit des daraus resultierenden Diagnoseablaufs.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung einer rechnergestützten Fehlerdiagnoseeinrichtung der eingangs genannten Art zugrunde, die selbsttätig und zuverlässig Fehlerdiagnosen an einem gegebenen technischen System mit möglichst wohlstrukturierten, einheitlichen Diagnoseabläufen durchzuführen vermag und die vergleichsweise wenig Arbeitsaufwand zur Diagnoseablaufbereitstellung im Vorfeld der Fehlerdiagnosedurchführungen erfordert.

Dieses Problem wird durch eine rechnergestützte Fehler-

diagnoseeinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bei dieser Einrichtung generieren die Diagnoseablaufbereitstellungsmittel, nachfolgend auch Diagnoseablaufbereitstellungsstufe bezeichnet, aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell automatisch ein Basis-Fehlermodell in der angegebenen, speziellen Art und Weise. Es zeigt sich, daß ein solchermaßen automatisch erstelltes Basis-Fehlermodell aufgrund seiner relativ einheitlichen und optimierten Struktur zu wohldefinierten und zuverlässigen Diagnoseabläufen führt, wobei zudem nur ein vergleichsweise geringer Arbeitsaufwand für die Fehlermodellerstellung benötigt wird.

Eine Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 2 vervollständigt die Fehlerdiagnoseeinrichtung zu einem geschlossenen Diagnoseprozeßkreis, indem Auswertemittel die Sitzungsprotokolle von Diagnoseabläufen auswerten und daraus Informationen extrahieren, die zur Aktualisierung der den Diagnoseablauf bestimmenden Wissensbasis verwendet und zu diesem Zweck an die Diagnoseablaufbereitstellungsmittel übermittelt werden können.

Eine Fehlerdiagnoseeinrichtung nach Anspruch 3 ist besonders gut zur Fehlerdiagnose an Kraftfahrzeugen geeignet.

Weiter verbesserte Eigenschaften besitzt eine nach Anspruch 4 weitergebildete Fehlerdiagnoseeinrichtung dadurch, daß den Trennstellen selbst Fehlerobjekte zugeordnet sind.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm einer rechnergestützten Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein Kraftfahrzeug mit zugehörigen Kommunikationspfaden,

Fig. 2 eine schematische, ausschnittsweise Ansicht der primären Beschreibungsebene eines in der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe von Fig. 1 abgelegten Wissensbasis-Strukturmodells,

Fig. 3 eine schematische Blockschaltbilddarstellung einer sich auf eine Elektronische-Fahrpedal-(EFP)-Stelleinrichtung beziehenden Wirkungsgruppe eines Wissensbasis-Wirkungsmodells, das in der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe von Fig. 1 abgelegt ist,

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer der Wirkungsbereiche der Wirkungsgruppe von Fig. 3,

Fig. 5 eine Flußdiagrammdarstellung bezüglich der Erstellung eines in der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe von Fig. 1 abgelegten Fehlermodells,

Fig. 6 eine Blockdiagrammdarstellung eines der Wirkungsbereiche von Fig. 3 zur Veranschaulichung der Bedeutung einer Trennstelle,

Fig. 7 eine schematische Darstellung desjenigen Fehlerbaums aus dem Fehlermodell, der sich auf die EFP-Stelleinrichtung von Fig. 3 bezieht, und

Fig. 8 eine schematische Blockdiagrammdarstellung der lokalen Umgebung eines Fehlerobjektes aus dem Fehlermodell.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, beinhaltet die beispielhaft beschriebene rechnergestützte Kraftfahrzeug-Fehlerdiagnoseeinrichtung als Herzstück eine Diagnosedurchführungsstufe (1), die typischerweise in einer Diagnose-Rechnereinrichtung einer Werkstatt installiert ist. Mit ihr kann ein Kundendienstberater, an den ein Kunde bzw. Fahrer wegen eines Störfalls an seinem Kraftfahrzeug herantritt, zwecks Mitteilung der Fahrzeugidentifikation und eventuell bekannter Fehlersymptome kommunizieren. Die Diagnosedurchführungsstufe (1) vermag selbsttätig einen Diagnoseablauf am jeweiligen Fahrzeug durchzuführen, wie er durch ein zugehöriges Diagnoseprogramm vorgegeben ist, das der Diagno-

sedurchführungsstufe (1) von einer Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) zur Verfügung gestellt wird, die sich typischerweise in einer Entwicklungszentrale des Fahrzeugherstellers befindet. Je nach Fahrzeug und mitgeteilten Fehler-symptomen steuert dann die Diagnosedurchführungsstufe (1) einen geeigneten Diagnoseablauf unter Interaktion mit dem beteiligten Servicetechniker, der je nach Ablaufstrategie die vom System vorgeschlagene Vorgehensweise beibehalten oder aufgrund seiner eigenen Erfahrung von dieser abweichen kann. Solche Strategien, wie benutzerführende Strategien, vom Benutzer gesteuerte Strategien oder eine fallbasierte Strategie sind an sich bekannt und bedürfen hier keiner näheren Erläuterung. Zwischen Diagnosedurchführungsstufe (1) und Servicetechniker werden auf diese Weise die erforderlichen Prüfanweisungen und Prüfergebnisse ausgetauscht. Während einer Störungslokalisierung greift der Servicetechniker zudem ggf. in das Fahrzeugsystem ein, indem er Bauteile an Trennstellen voneinander trennt oder Meßsensoren anschließt sowie eine Abhilfemaßnahme durchführt z. B. ein als fehlerhaft erkanntes Bauteil austauscht. Während der Diagnose kommuniziert die Diagnosedurchführungsstufe (1) mit der Fahrzeugelektronik zur Erfassung von Meßwerten und Umgebungsdaten, die dann ihrerseits den Diagnoseablauf in einer vom Diagnoseprogramm vorgegebenen Weise steuern, d. h., daß in Abhängigkeit eines gemessenen Wertes der nächste Diagnoseschritt bestimmt wird. Des weiteren vermag die Diagnosedurchführungsstufe (1) Aktuatoren im Fahrzeug aktiv anzusteuern und so das Fahrzeug in einen bestimmten Zustand zu versetzen. Zur Durchführung der Fahrzeugkommunikation während der Diagnose dient ein Softwaremodul in Form eines sogenannten Fahrzeug-Managers, der die aktuelle Fahrzeugkonfiguration ermittelt und die Variantenbehandlung, z. B. automatische Auswahl des Kommunikationsprotokolls, der verschiedenen vorhandenen Steuergerätevarianten übernimmt. Weiterhin beinhaltet die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Diagnosedurchführungsstufe (1) die Übermittlung von diagnoserelevanten Daten, insbesondere ggf. abgelegten Fehlercodes.

Zur Bereitstellung der erforderlichen Diagnoseprogramme für die Diagnosedurchführungsstufe (1) enthält die Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) eine abgespeicherte Wissensbasis, die aus Wissensbasismodulen besteht, die einem jeweiligen Teilsystem des komplexen, modular aufgebauten technischen Systems, hier speziell des Fahrzeugs, zugeordnet sind. Zur Wissensrepräsentation werden ein Strukturmodell bezüglich des Aufbaus des technischen Systems und seiner Teilsysteme, ein Wirkungsmodell bezüglich der Funktionsweise der Teilsysteme, ein Fehlermodell, in welchem das Wissen über die Beziehungen zwischen Fehlern und Symptomen bzw. zwischen Fehlern und ihren Ursachen enthalten ist, sowie eine Fallbasis über situations- und fallbezogene Information verwendet. Die Wissensbasis kann als mehrdimensionales Gebilde aufgefaßt werden, aus der sich je nach Sichtweise die verschiedenen genannten Modelle ergeben, z. B. ergibt sich das Strukturmodell durch eine Sicht auf die Wissensbasis mittels der "hat-Teil"-Relation, während die "verursacht-durch"-Relation eine Sicht auf das Fehlermodell gestattet. Zur Erstellung und Aktualisierung des jeweiligen Strukturmodells und Wirkungsmodells werden die erforderlichen Eingangsinformationen über eine Eingabestation (3) innerhalb einer Entwicklungs- oder Serviceumgebung in die Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) eingespeist, die dann, wie unten näher beschrieben, aus dem Struktur- und dem Wirkungsmodell automatisch ein Basis-Fehlermodell generiert. Durch eine Auswertestufe (4) wird ein geschlossener Diagnoseprozeßkreis gebildet, in dem die Auswertestufe (4) die Diagnosesitzungsprotokolle

der Diagnosedurchführungsstufe (1) nach Information ausgewertet, die für die Wissensbasis in der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) von Interesse ist. Diese Information wird von der Auswertestufe (4) an die Eingabestation (3) zur Weitergabe an die Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) übermittelt, die daraufhin die Wissensbasis entsprechend der Diagnoseergebnisse aktualisieren kann. Die Auswertestufe kann sich hierbei entweder in der jeweiligen Werkstatt oder aber in einer zentralen Entwicklungs- oder Serviceabteilung des Fahrzeugherstellers befinden.

Nachfolgend wird genauer auf die den Diagnoseablauf bestimmende Wissensbasis eingegangen. Das Strukturmodell beschreibt die Zusammensetzung des Fahrzeugs aus den einzelnen Bauteilen, wobei eine primäre Beschreibungsebene aus einem Strukturbaum besteht, wie er in Fig. 2 ausschnittsweise für ein Teilsystem "Antiblockiersystem" illustriert ist. Die Verbindungspfeile repräsentieren dabei jeweils die "hat-Teil"-Relation, d. h. eine hierarchisch nachgeordnete Komponente ist Bestandteil der zugehörigen, hierarchisch übergeordneten Komponente. Auf einer sekundären Beschreibungsebene ist jeder Einheit des Strukturmodells Wissen über mögliche Fehler, Prüfverfahren und Reparaturen zugeordnet.

Das Wirkungsmodell beschreibt das Zusammenwirken der Bauteile des Fahrzeugs bzw. der einzelnen Teilsysteme. Die Beschreibung erfolgt durch Modellierung der Wirkungsbeziehungen, die zwischen den einzelnen Bauteilen des Strukturmodells bestehen. Die Modellierung im Wirkungsmodell erfolgt auf mehreren Ebenen, was nachfolgend anhand der Fig. 3 und 4 am Beispiel einer Stelleinrichtung (5) eines elektronischen Fahrpedals (nachfolgend mit EFP abgekürzt) als einem Teilsystem des Fahrzeugs erläutert wird. Zunächst wird für das jeweilige Teilsystem, hier der in Fig. 3 oben als Blockschaltbild repräsentierten EFP-Stelleinrichtung (5), ein eigenes Wissensbasismodul definiert. Dieses Teilsystem wird dann in einzelne Wirkungsgruppen zerlegt, die im allgemeinen die Verbindungen eines zugehörigen Steuergerätes zu jeweils einer peripheren Komponente, wie Stellglieder, Relais, Schalter oder andere Steuergeräte, enthalten. Anschließend wird für jeden Wirkungszusammenhang, der in dieser Wirkungsgruppe enthalten ist, ein Wirkungsbereich definiert. So kann beispielsweise eine Wirkungsgruppe mit einem Relais in einen Wirkungsbereich für den Steuerkreis und einen für den Arbeitskreis zerlegt werden. Im Beispiel von Fig. 3 enthält die EFP-Stelleinrichtung (5) ein Steuergerät (6), das über elektrische Leitungen mit den Verarbeitungseinheiten der Wirkungen, wie Stellglieder, Sensoren etc., verbunden ist. Speziell sind hier zwei Potentiometer (r1, r2), zwei Schalter (s1, s2), eine Kupplung (k1) und ein Motor (m1) vorhanden. Die zugehörige Wirkungsgruppe besteht damit aus den sechs Wirkungsbereichen, die diesen sechs Komponenten zugeordnet sind, wobei die jeweiligen Transportwege der Wirkungen, d. h. in diesem Fall die elektrischen Verbindungsleitungen, im jeweils zugehörigen Blockdiagramm des unteren Teils von Fig. 3 fett gezeichnet hervorgehoben sind. In Fig. 4 ist der Wirkungsbereich für den Stellmotor (m1) in seiner logischen Struktur wiedergegeben, wobei die Komponenten mit durchgehendem Rechteckrahmen Bauteil-Aspekte bezeichnen, die ggf. mit Anschlußpunkten, die als Quadrate symbolisiert sind, versehen sind. Die oval umrahmten Komponenten stellen Wirkungsschnittstellenaspekte dar, siehe die Verbindungspunkte (VP) in Fig. 3, während die Komponenten mit gestricheltem Rahmen Trennstellenaspekte (TS6) repräsentieren. Als Trennstellen werden dabei diejenigen Punkte in dem technischen System bezeichnet, an denen eine Diagnoseeingriffsmöglichkeit durch Auftrennen des Wirkungsflusses besteht. Die Trennstellen bieten dem Wartungsperso-

nal besondere Testmöglichkeiten, um durch geeignete Messungen fehlerhafte Teilwirkungsbereiche im System zu identifizieren und eine Störung durch sukzessive Zerlegung des Systems systematisch einzugrenzen. Dabei können auch Bauteile Trennstellen bilden, z. B. auftrennbare Steckverbindungs-einheiten. Die Verbindungslinien in Fig. 4 repräsentieren die Relation "hat-Wirkung". Wie für das Strukturmodell besteht neben dieser primären Beschreibungsebene des Wirkungsmodells eine sekundäre Beschreibungsebene, in der wiederum Wissen über mögliche Fehler, Prüfabläufe etc. für jede Komponente des Wirkungsmodells enthalten ist. Sowohl das Struktur- als auch das Wirkungsmodell werden automatisch aus Daten über die Fahrzeugzusammensetzung hergeleitet, die in entsprechenden CAD/CAB-Systemen abgelegt sind und über die Eingabestation (3) der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) zugeführt werden.

Eine Besonderheit der gezeigten Fehlerdiagnoseeinrichtung besteht darin, daß die Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell, wie sie oben beschrieben sind, automatisch ein Basis-Fehlermodell ableitet, wie dies in Flußdiagrammform in Fig. 5 dargestellt ist. Ausgehend von Struktur- und Wirkungsmodell, die über die entsprechende Akquisition von Struktur- und Wirkungswissen erstellt wurden, erfolgt die Ableitung des Basis-Fehlermodells in folgenden Schritten. Zunächst werden Prioritätslisten für die Trennstellen im Wirkungsmodell erstellt, so daß die Trennstellen eines jeden Wirkungsbereichs in einer Prioritätsreihenfolge geordnet sind. Diese Reihenfolge kann unter Beachtung des Aufwands, z. B. hinsichtlich Zugänglichkeit oder Prüfaufwand, der Nützlichkeit zur Fehlerlokalisierung, der Fehlerwahrscheinlichkeit, d. h. Fehleranfälligkeit, und der Testanzahl, d. h. der Anzahl möglicher Tests an einer geöffneten Trennstelle, erstellt werden. Die anschließende Erstellung des eigentlichen Basis-Fehlermodells ist in Fig. 7 wiederum für den Fall der EFP-Stelleinrichtung stellvertretend für alle anderen Teilsysteme des Kraftfahrzeugs illustriert.

Zunächst wird für jedes Wissensbasismodul im Wirkungsmodell genau ein Wurzelobjekt im Basis-Fehlermodell abgeleitet, siehe Modul-EFP in Fig. 7, wobei die Identifikationsdaten aus dem Wissensbasismodul im Wirkungsmodell auf das Wurzelobjekt im Basis-Fehlermodell übertragen werden. Nun wird jede Wirkungsgruppe eines Teilsystems auf ein Fehlerobjekt im Basis-Fehlermodell abgebildet und dem Wurzelobjekt hierarchisch nachgeordnet. Die Verbindungslinien in Fig. 7 bezeichnen von oben nach unten eine "verursacht-durch"-Relation bzw. in umgekehrter Richtung von unten nach oben eine "führt-zu"-Relation. In Fig. 7 sind dies die Fehlerobjekte für die Wirkungsgruppen Stellglied, Leerlauf-Kontaktschalter etc. Die Fehlerobjekte für die Wirkungsgruppen bilden somit die erste Ebene im Fehlerbaum. Ist der Wirkungsgruppe im Wirkungsmodell bereits ein Fehler zugeordnet, so wird dieser Fehler in den Fehlerbaum eingefügt, während ansonsten automatisch ein leeres Fehlerobjekt erzeugt wird, dessen Name sich aus dem Namen der Wirkungsgruppe ableitet.

Als nächster Schritt wird jeder Wirkungsbereich einer jeweiligen Wirkungsgruppe auf ein entsprechendes Fehlerobjekt abgebildet und dem zu dieser Wirkungsgruppe gehörigen Fehlerobjekt hierarchisch nachgeordnet. Dies ist im mittleren Teil von Fig. 7 für die Wirkungsgruppe des EFP-Stellgliedes dargestellt, deren sechs Wirkungsbereiche in Fig. 3 dargestellt sind. Ist dem jeweiligen Wirkungsbereich im Wirkungsmodell bereits ein Fehler zugeordnet, so wird dieser Fehler in den Fehlerbaum eingefügt. Ansonsten wird automatisch ein leeres Fehlerobjekt erzeugt, dessen Name sich aus dem Name des Wirkungsbereichs ableitet.

In einem nächsten Schritt werden die einzelnen Wir-

kungsbereiche verfeinert, indem jedem möglichen Fehler in einem Wirkungsbereich Fehler in Teilwirkungsbereichen zugeordnet werden, die aus dem Wirkungsbereich durch das Öffnen einer Trennstelle entstehen. Die Reihenfolge, in der die Trennstellen des Wirkungsbereichs geöffnet werden, ist durch die Angabe ihrer Priorität entsprechend der eingangs erstellten Prioritätsliste festgelegt. Wird eine Trennstelle geöffnet, so zerfällt der Wirkungsbereich im allgemeinen in mehrere Teilwirkungsbereiche. Dies ist in Fig. 6 beispielhaft am Wirkungsbereich (s1) eines der beiden Schalter der EFP-Stelleinrichtung (5) gemäß Fig. 3 veranschaulicht. Das Öffnen der dortigen Trennstelle (x1) erzeugt die drei in der unteren Hälfte von Fig. 6 gezeigten Teilwirkungsbereiche. Für jeden Teilwirkungsbereich wird jeweils ein Fehlerobjekt abgeleitet und dem Fehlerobjekt des zugehörigen Wirkungsbereiches hierarchisch nachgeordnet. Außerdem werden diejenigen Fehlerobjekte, die der Trennstelle selbst zugeordnet sind, neben die Fehlerobjekte der Teilwirkungsbereiche eingefügt. Für die weiteren Teilwirkungsbereiche wird in gleicher Weise verfahren, bis der jeweilige Teilwirkungsbereich nur noch aus einer kleinsten austauschbaren bzw. reparierbaren Einheit besteht, deren zugeordnete Fehler dann neben die Fehlerobjekte der anderen Teilwirkungsbereiche gleicher Hierarchie eingefügt werden. Wenn ein Teilwirkungsbereich nur noch aus einem Wirkungsschnittstellenobjekt, d. h. einer Schnittstelle eines Teilsystems zu einem anderen Teilsystem, besteht, so wird dieses in den Fehlerbaum eingefügt. Diese Vorgehensweise der Wirkungsbereichsverfeinerung ist im unteren Teil von Fig. 7 anhand des Wirkungsbereichs (s1) des einen Schalters der EFP-Stelleinrichtung (5) veranschaulicht. Soweit im Struktur- und im Wirkungsmodell bereits Fehlerobjekte für Pfade, Wirkungsbereiche, Trennstellen oder Bauteile angegeben sind, werden diese als zusätzliche Fehlerursachen unter den jeweiligen zugehörigen Fehler im Fehlerbaum eingefügt. Die bereits im Struktur- und im Wirkungsmodell definierten Fehler können auch schon Tests und Reparaturen besitzen, die ebenfalls in das Fehlerobjekt im Fehlerbaum übernommen werden. Die dadurch generierte zweite Beschreibungsebene eines Fehlerobjektes (10), d. h. dessen lokale Umgebung, ist in Fig. 8 veranschaulicht, die mit den eingetragenen Beschriftungen, einschließlich der zu den Verbindungslinien gehörigen Relationen, selbsterklärend ist.

Damit ist die automatische Erstellung des Basis-Fehlermodells durch die Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) abgeschlossen. Um das Basis-Fehlermodell zum endgültigen Fehlermodell zu vervollständigen, kann in einer Diagnosewissensakquisition, Fallwissen, d. h. situations- und fallbezogene Information, hinzugefügt werden, wie in Fig. 5 dargestellt. Der geschilderte Algorithmus zur automatischen Fehlermodellableitung führt mit relativ geringem Erstellungsaufwand zu einem zuverlässigen, einheitlichen und wohlstrukturierten Fehlermodell, das eine sichere Grundlage für die Durchführung optimaler Diagnoseabläufe mittels der Diagnosedurchführungsstufe (1) bildet.

Zur weiteren Verbesserung der Fehlermodellableitung können in der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) generische (Bauteil-) Bibliotheken vorgesehen sein, in denen allgemeines Wissen über die einzelnen Systemteile und deren Wirkungskomponenten abgelegt wird. Mit diesen generischen Bibliotheken kann die Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) bei Vorliegen neuer Systemkomponenten während der Ableitung des Fehlermodells einen Mustervergleich durchführen und dadurch feststellen, ob und wenn ja welche bereits in der Wissensbasis enthaltenen Teile die neuen Systemkomponenten aufweisen. Diesen Teilen werden dann Fehlerobjekte zugeordnet, die das hierüber bereits bekannte Wissen enthalten, wodurch die Fehlermodellerstellung opti-

miert wird und sich verbesserte Fehlerstrukturen erzielen lassen.

Nachfolgend wird ein typischer Teil eines solchen, mit der Fehlerdiagnoseeinrichtung von Fig. 1 durchführbaren Diagnoseablaufs am Fahrzeug am Beispiel eines fiktiven Fehlers in Form einer Stromkreisunterbrechung bei einer Anordnung von vier Magnetventilen in einer elektronischen Getriebesteuerung eines Automatgetriebes aufgezeigt.

Der Diagnoseablauf beginnt mit einer Fahrzeuggrobidentifikation, z. B. hinsichtlich Baumuster, Motor- und Getriebe-
nummer etc., der Eingabe von Kundenbeanstandungen und einem Kurztest, in welchem die Steuergeräte im Fahrzeug ermittelt werden, neben einer elektronischen Getriebe-
steuerung beispielsweise ein Antiblockiersystem-Steuergerät und ein Motorsteuergerät, wonach die Diagnosedurchführungsstufe (1) eine entsprechende Prüfliste erstellt. Ein
Servicetechniker aktiviert dann die Fehlerdiagnose hinsichtlich der Prüflistenposition für die elektronische Getriebe-
steuerung, wenn angenommen zu diesem Teilsystem eine Kundenbeanstandung in Form eines Getriebeotlaufs, bei dem kein Gangwechsel möglich ist, und ein die Magnetventile betreffender Fehlercode vorliegt. In einem Diagnoseeinstiegstest prüft die Diagnosedurchführungsstufe (1), welche
Teilbereiche des Teilsystems "Elektronische Getriebe-
steuerung" als Ursache für den Fehlercode und die Beanstandung in Frage kommen. Aufgrund des vorliegenden Fehlercodes und der Beanstandung wird der Teilbereich "Getriebeotlauf - kein Gangwechsel" als verdächtig markiert.

Der nachfolgende Prüftest entsprechend des von der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) bereitgestellten Diagnoseprogramms ermittelt dann eine Leitungsunterbrechung in einem bestimmten Magnetventilschaltkreis als Ursache für die Beanstandung und den vorliegenden Fehlercode. Mittels weiterer Prüftests wird ermittelt, durch welchen Defekt die Unterbrechung verursacht wird, wobei die elektrischen Steckkontakte und Widerstände geprüft werden. Dabei generiert die Diagnosedurchführungsstufe (1) entsprechende Prüfanweisungen aufgrund des in der Wissensbasis der Diagnoseablaufbereitstellungsstufe (2) enthaltenen Fehlermodells. Bei einer der Widerstandsmessungen wird erkannt, daß die Unterbrechung im Leitsatz lokalisiert ist, und der Servicetechniker erhält eine entsprechende Reparaturanleitung. Nach der Reparaturanleitung wird eine Verifikationsmessung ausgeführt, die sicherstellt, daß der Fehler auch tatsächlich behoben ist. Nach erfolgreicher Verifikation kehrt der Diagnoseablauf zur Detailprüfliste zurück, wonach ggf. weitere Fehler diagnostiziert werden können.

Der Dialog zwischen Servicetechniker und Diagnose-durchführungsstufe während der Diagnose erfolgt über einen Monitor, auf dem jeweils ein passender Ausschnitt des Gesamtsystems dargestellt wird. Bei der Bildschirmdarstellung wird durch unterschiedliche farbliche Markierung zwischen bereits als fehlerfrei erkannten bzw. noch undiagnostizierten Komponenten unterschieden. Auswahl und Aufbau der für das jeweilige Diagnosestadium optimalen Graphik erfolgen gestützt auf die abgelegte Wissensbasis, speziell auf das Wirkungsmodell, was eine ansonsten, z. B. bei Verwendung fest abgelegter Graphiken für die verschiedenen Systemkomponenten, nicht realisierbare Variabilität in der Möglichkeit, zum jeweiligen Diagnosezeitpunkt stets gerade die relevante Wirkungszusammenhänge und -komponenten auf beste Weise darzustellen, bietet. So wird eine mit einer fortschreitenden Fehlerlokalisierung bestmöglich korrespondierende Auswahl an sukzessive zu den kleinsten Wirkungseinheiten fortschreitenden Bildschirmdarstellungen erzielt.

Es zeigt sich, daß die erfindungsgemäße Fehlerdiagnoseeinrichtung mit relativ geringem Aufwand weitgehend auto-

matisierte und objektivierbare Fehlerdiagnoseabläufe zu realisieren vermag, und es versteht sich, daß eine solche Fehlerdiagnoseeinrichtung nicht nur für Fahrzeuge sondern auch für beliebige andere, modular aufgebaute technische Systeme geeignet ist.

Patentansprüche

1. Rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung für ein komplexes technisches System aus einzelnen Teilsystemen mit mehreren zu diagnostizierenden Funktionen, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit

- Diagnoseablaufbereitstellungsmitteln, in denen eine Wissensbasis abgelegt ist, die ein Strukturmodell über den hierarchischen Aufbau des technischen Systems aus den einzelnen Teilsystemen, ein in Wirkungs- und Teilwirkungsbereiche gegliedertes Wirkungsmodell über die Wirkungsbeziehungen zwischen den einzelnen Teilsystemen sowie innerhalb der einzelnen Teilsysteme und ein den Diagnoseablauf bestimmendes Fehlermodell beinhaltet, das automatisch aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell erstellt wird und die Zusammenhänge zwischen Fehlerursachen und deren Auswirkungen sowie geeigneten Prüf-abläufen und Reparaturen darstellt, und
- Diagnosedurchführungsmitteln (1) zur interaktiven Durchführung von Fehlerdiagnosen unter Verwendung des von den Diagnoseablaufbereitstellungsmitteln bereitgestellten Diagnoseablaufprogramms,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Diagnoseablaufbereitstellungsmittel (2) automatisch aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell ein Basis-Fehlermodell erstellen, auf dem dann das Fehlermodell basiert, indem sie für jedes Wissensbasismodul, das einem jeweiligen Teilsystem zugeordnet ist, genau ein Basis-Fehlermodell-Wurzelobjekt ableiten, für jeden zugehörigen, hierarchisch obersten Wirkungsbereich im Wirkungsmodell ein Basis-Fehlerobjekt ableiten, das dem zugehörigen Basis-Fehlermodell-Wurzelobjekt hierarchisch nachgeordnet wird, für jeden zugehörigen, hierarchisch nachgeordneten Wirkungsbereich im Wirkungsmodell ein Basis-Fehlerobjekt ableiten, das dem Basis-Fehlerobjekt des hierarchisch übergeordneten Wirkungsbereichs hierarchisch nachgeordnet wird, und für jeden zugehörigen Teilwirkungsbereich, der durch Öffnen von Trennstellen entsprechend einer erstellten Prioritätsliste gebildet wird, ein Basis-Fehlerobjekt ableiten, das dem Basis-Fehlerobjekt des hierarchisch übergeordneten Wirkungsbereichs oder Teilwirkungsbereichs hierarchisch nachgeordnet wird.

2. Rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung nach Anspruch 1, weiter gekennzeichnet durch Auswertemittel (4), welche Diagnoseablaufprotokolle der Diagnosedurchführungsmittel (1) auswerten und wissensbasisrelevante Informationen für die Diagnoseablaufbereitstellungsmittel (2) liefern.

3. Rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2 für ein Kraftfahrzeug, weiter dadurch gekennzeichnet, daß sie zur Durchführung eines wissensbasisgesteuerten Diagnoseablaufs eingerichtet ist, bei dem zunächst ein Kurztest zum Erfragen der vorhandenen Steuergeräte und zum Auslesen diagnose-relevanter Daten, insbesondere in Fehlerspeichern

abgelegter Fehlercodes durchgeführt, dann eine Prüfliste erstellt, daraufhin ein Diagnoseeinstiegstest zur Markierung einzelner Bereiche eines durch die Prüfliste gegebenen Teilsystems als potentielle Fehlerursache durchgeführt und in Abhängigkeit vom Ergebnis dieses Tests eine Detailprüfliste erstellt wird, wonach der eigentliche Fehlersuchvorgang anhand von jeweiligen Testanweisungen durchgeführt und bei erkanntem Fehler eine Reparaturanweisung bereitgestellt sowie optional ein anschließender Verifikationstest durchgeführt wird.

4. Rechnergestützte Fehlerdiagnoseeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß in dem von den Diagnoseablaufbereitstellungsmitteln (2) automatisch aus dem Strukturmodell und dem Wirkungsmodell erstellten Basis-Fehlermodell den Trennstellen selbst ein jeweiliges Basis-Fehlerobjekt zugeordnet ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

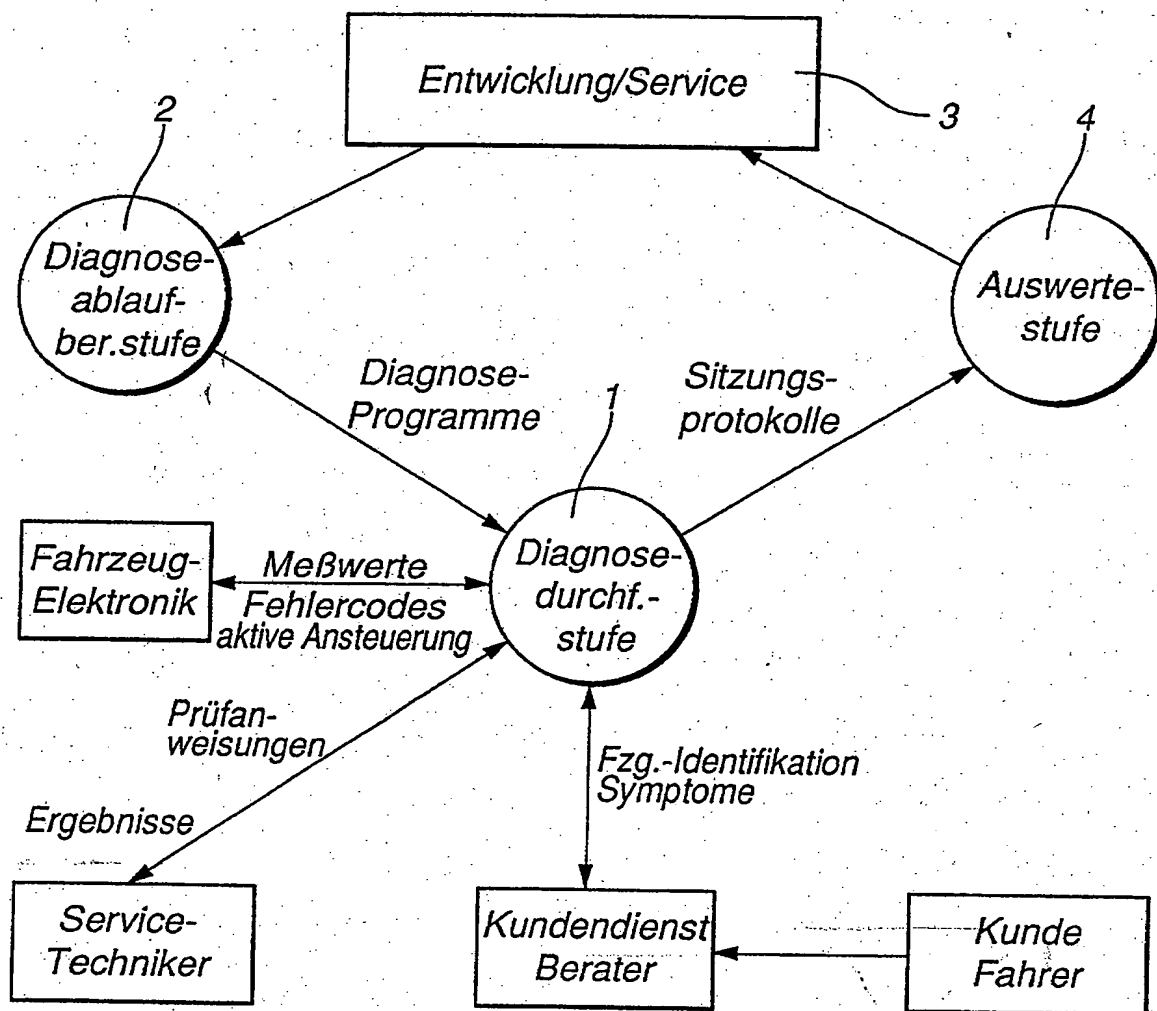


Fig. 2

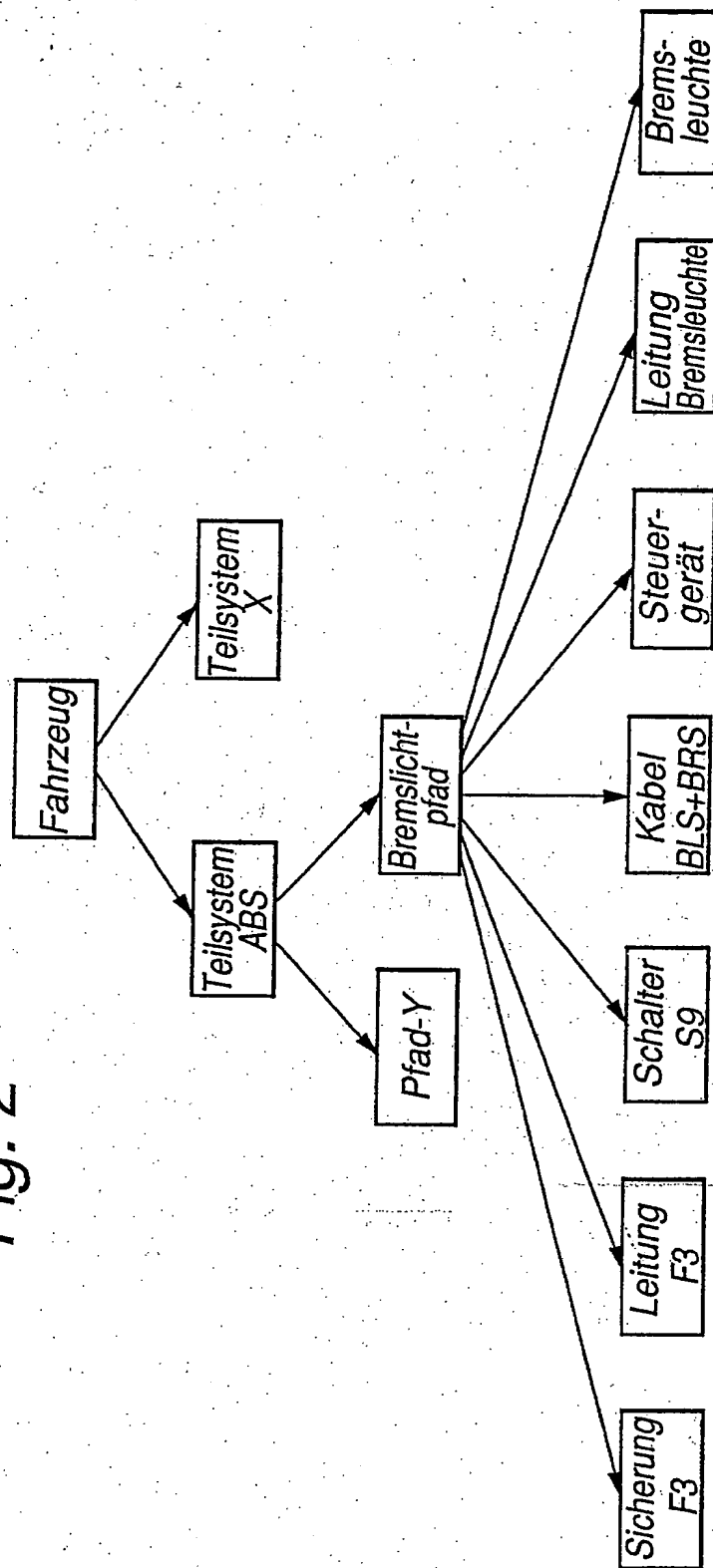


Fig. 3

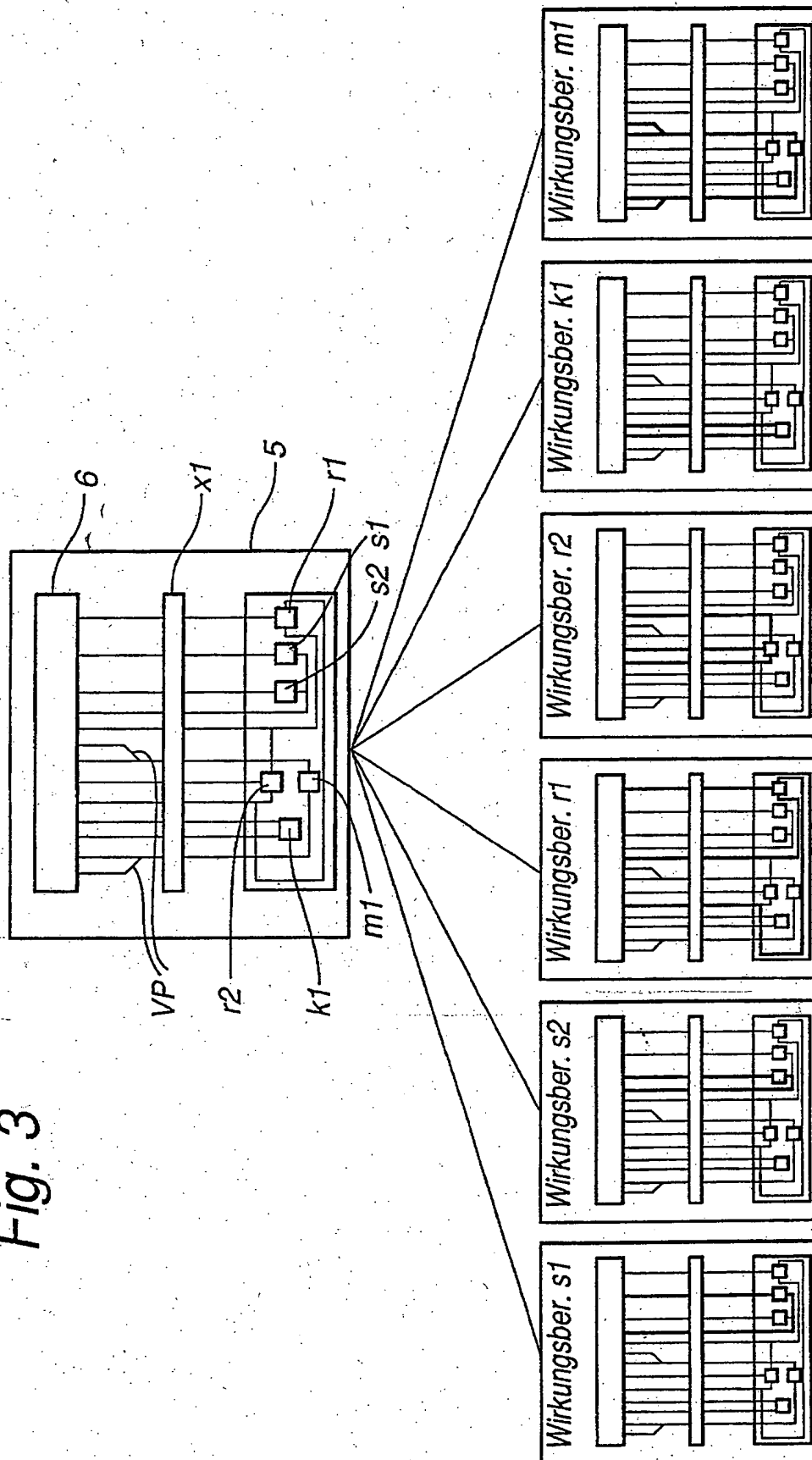


Fig. 4

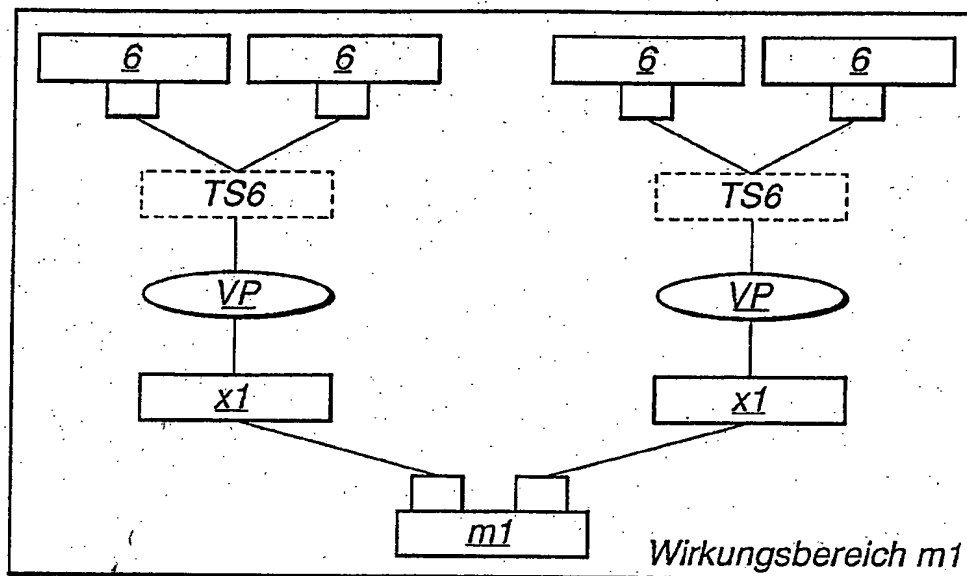


Fig. 5

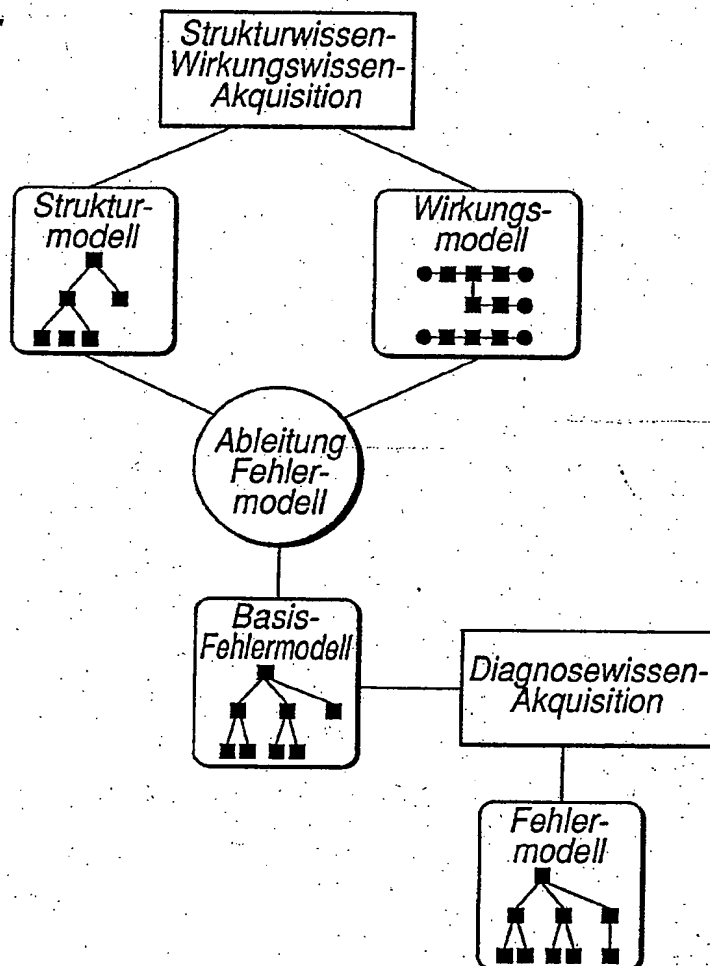


Fig. 6

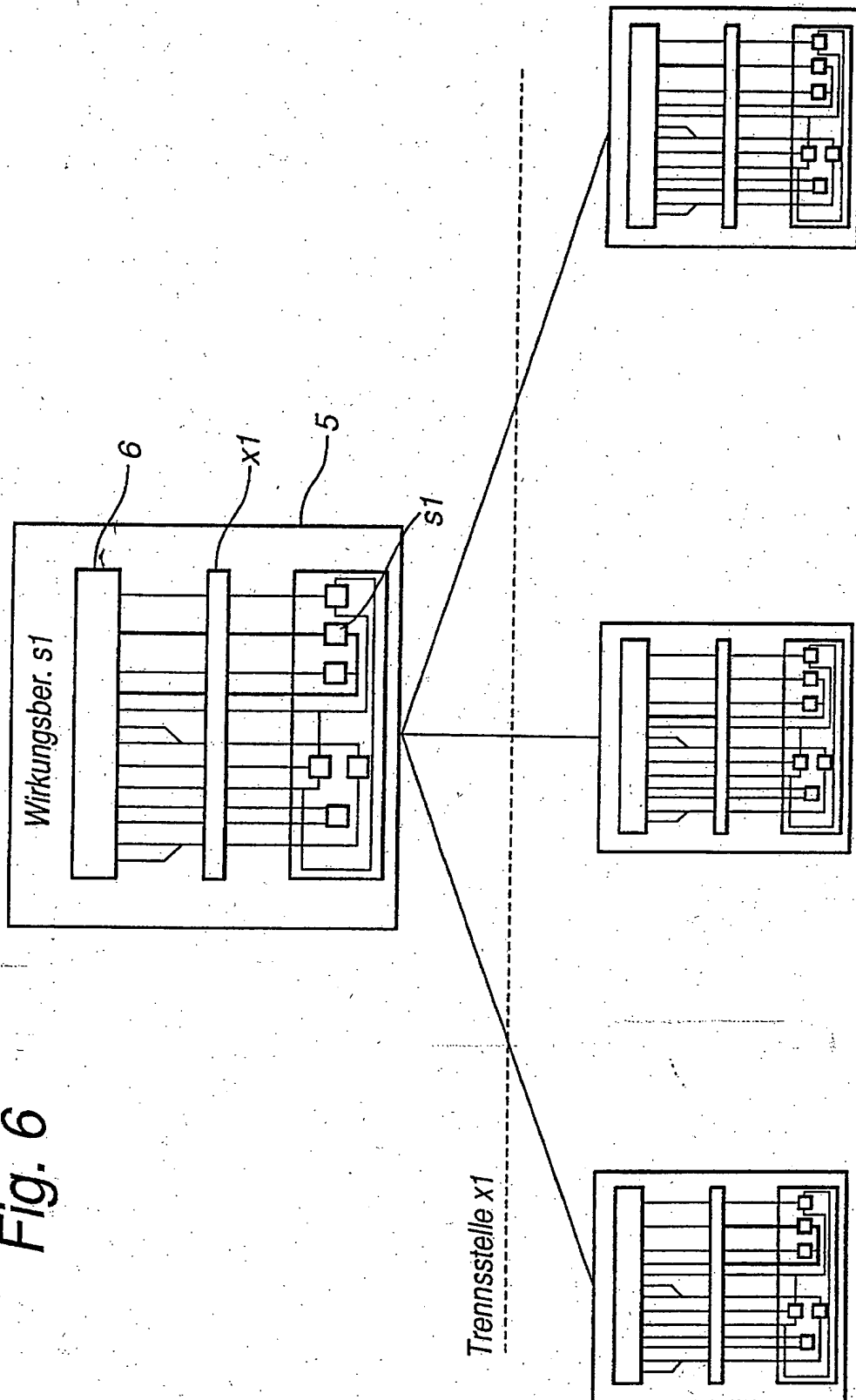


Fig. 7

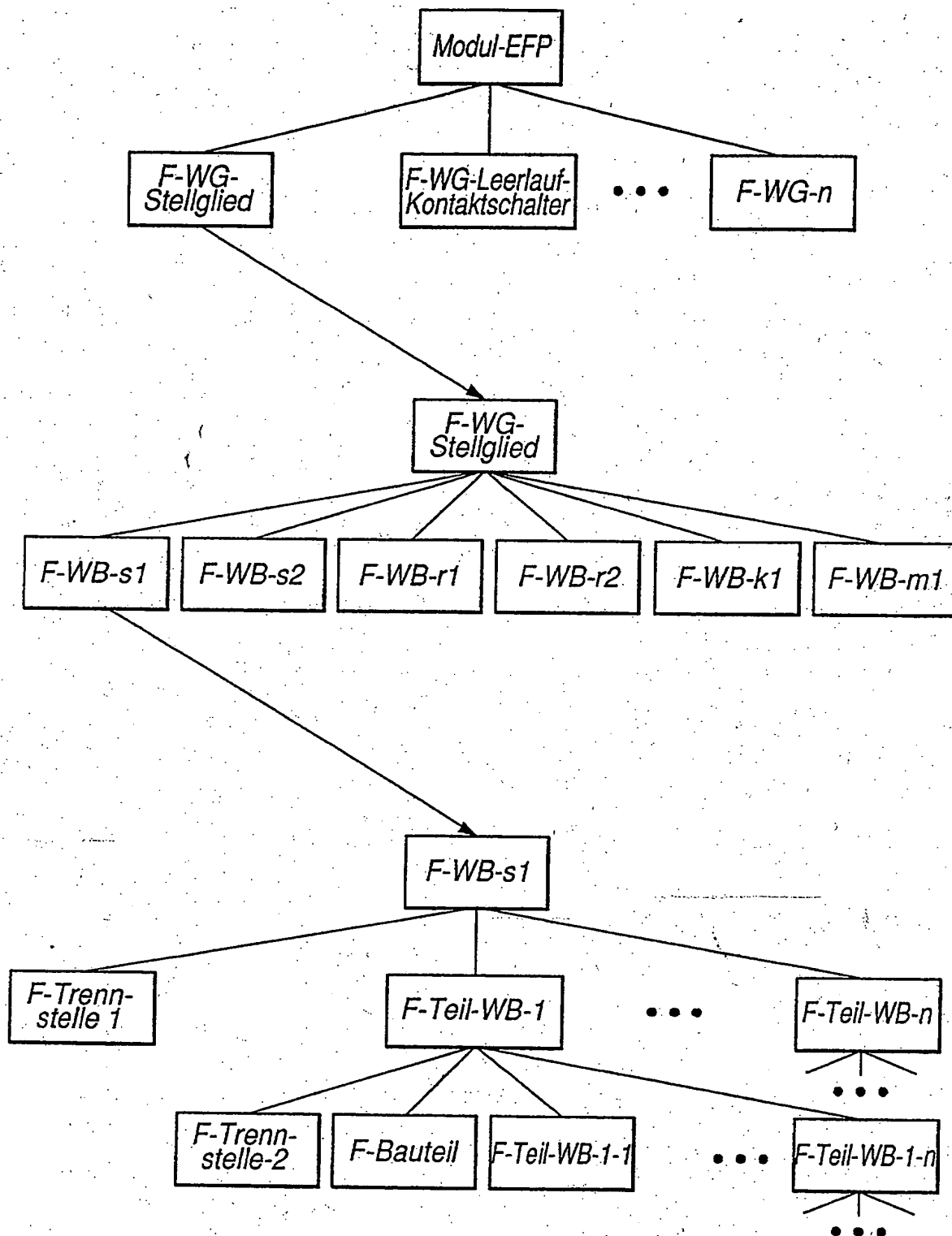


Fig. 8

